

# DUAL-SPIN-VALVE TYPE THIN-FILM ELEMENT AND ITS MANUFACTURING METHOD, AND THIN-FILM MAGNETIC HEAD

Patent Number: JP2002185060  
Publication date: 2002-06-28  
Inventor(s): OKAZAKI KOJI;; NISHIOKA KOICHI;; TAJIMA YASUNARI;; SHIGEMATSU KEISHI;; KAGAWA MASAYOSHI  
Applicant(s): HITACHI LTD  
Requested Patent: JP2002185060  
Application Number: JP20000381693 20001211  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01L43/08; G01R33/09; G11B5/39; H01F10/16; H01F10/26; H01F10/32; H01L43/12  
EC Classification:  
Equivalents:

## Abstract

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a dual-spin-valve type thin-film element that shows excellent soft magnetic characteristics or proper  $H_{int}$  and  $\lambda$  with a high MR ratio.

**SOLUTION:** In this dual-spin-valve type thin-film element having a lamination Fery type fixing layer, a free magnetic layer is formed by at least one kind of a lamination layer selected from among NiFe alloy, Co, and CoFe alloy. In this case, in upper and lower sets of the lamination Fery type fixing layers, the film thickness of fixing magnetic layer at the side of the free magnetic layer is set thicker than that of the fixing magnetic layer at the side of an antiferromagnetic layer in both the upper and lower sections.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-185060

(P2002-185060A)

(43) 公開日 平成14年6月28日 (2002.6.28)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト* (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	5 D 0 3 4
G 1 1 B 5/39		H 0 1 F 10/16	5 E 0 4 9
H 0 1 F 10/16		10/28	
10/26		10/32	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-381693(P2000-381693)

(22) 出願日 平成12年12月11日 (2000. 12. 11)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 岡崎 幸司

神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会

社日立製作所ストレージシステム事業部内

(72) 発明者 西岡 浩一

神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会

社日立製作所ストレージシステム事業部内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

最終頁に続く

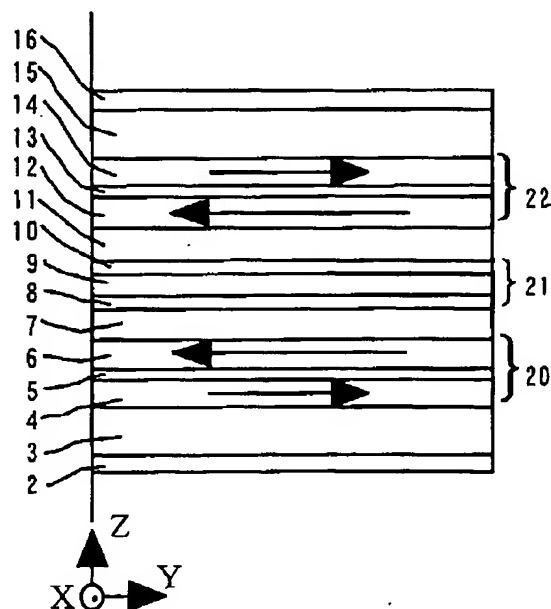
(54) 【発明の名称】 デュアルスピバルブ型薄膜素子、その製造方法及び薄膜磁気ヘッド

(57) 【要約】

【課題】 高MR比で、良好な軟磁気特性または適正なH i n t 及び入を示すデュアルスピバルブ型薄膜素子を提供する。

【解決手段】 積層フェリ型固定層を有するデュアルスピバルブ型薄膜素子において、自由磁性層を、NiFe合金、Co及びCoFe合金から選ばれる、少なくとも1種以上の積層膜から形成された構成とし、上下二組の積層フェリ型固定層の内、自由磁性層側の固定磁性層の膜厚を反強磁性層側の固定磁性層の膜厚より上下共に大きくするようにする。

図4



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】第1の反強磁性層、第1の固定磁性層、第1の非磁性導電層、自由磁性層、第2の非磁性導電層、第2の固定磁性層及び第2の反強磁性層を積層したデュアルスピバルブ型薄膜素子における、

前記第1の固定磁性層は、前記第1の反強磁性層に接し、前記第1の反強磁性層と交換結合磁界により磁化方向が固定される第1の磁性層と非磁性中間層を介して重ねられる第2の磁性層の2層で形成される積層フェリ型固定層であり、

前記第2の固定磁性層は、前記第2の反強磁性層に接し、前記第2の反強磁性層と交換結合磁界により磁化方向が固定される第3の磁性層と非磁性中間層を介して重ねられる第4の磁性層の2層で形成される積層フェリ型固定層であって、

前記自由磁性層はNiFe合金、Co及びCoFe合金から選ばれる、少なくとも1種以上の積層膜から形成されており、

前記(第1の磁性層の膜厚) < (第2の磁性層の膜厚)、

且つ前記(第3の磁性層の膜厚) < (第4の磁性層の膜厚)であることを特徴とするデュアルスピバルブ型薄膜素子。

【請求項2】第1の反強磁性層、第1の固定磁性層、第1の非磁性導電層、自由磁性層、第2の非磁性導電層、第2の固定磁性層及び第2の反強磁性層を積層したデュアルスピバルブ型薄膜素子における、

前記第1の固定磁性層は、前記第1の反強磁性層に接し、前記第1の反強磁性層と交換結合磁界により磁化方向が固定される第1の磁性層と非磁性中間層を介して重ねられる第2の磁性層の2層で形成される積層フェリ型固定層であり、

前記第2の固定磁性層は、前記第2の反強磁性層に接し、前記第2の反強磁性層と交換結合磁界により磁化方向が固定される第3の磁性層と非磁性中間層を介して重ねられる第4の磁性層の2層で形成される積層フェリ型固定層であって、

前記自由磁性層はNiFe合金とCoFe合金の積層膜から形成されており、

前記自由磁性層の膜厚が、2～4.5 nmの範囲内であり、

且つ前記(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)比が、0.5～3.5の範囲内であることを特徴とするデュアルスピバルブ型薄膜素子。

【請求項3】第1の反強磁性層、第1の固定磁性層、第1の非磁性導電層、自由磁性層、第2の非磁性導電層、第2の固定磁性層及び第2の反強磁性層を積層したデュアルスピバルブ型薄膜素子における、

前記第1の固定磁性層は、前記第1の反強磁性層に接し、前記第1の反強磁性層と交換結合磁界により磁化方

向が固定される第1の磁性層と非磁性中間層を介して重ねられる第2の磁性層の2層で形成される積層フェリ型固定層であり、

前記第2の固定磁性層は、前記第2の反強磁性層に接し、前記第2の反強磁性層と交換結合磁界により磁化方向が固定される第3の磁性層と非磁性中間層を介して重ねられる第4の磁性層の2層で形成される積層フェリ型固定層であって、

前記(第1の磁性層の膜厚) < (第2の磁性層の膜厚)、

且つ前記(第3の磁性層の膜厚) < (第4の磁性層の膜厚)であり、

前記自由磁性層はNiFe合金とCoFe合金の積層膜から形成されており、

前記自由磁性層の膜厚が、2～4.5 nmの範囲内であり、

且つ前記(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)比が、0.5～3.5の範囲内であることを特徴とするデュアルスピバルブ型薄膜素子。

【請求項4】請求項1または3に記載のデュアルスピバルブ型薄膜素子において、

前記第1の磁性層の膜厚、第2の磁性層の膜厚、第3の磁性層の膜厚及び第4の磁性層の膜厚が、1～5 nmの範囲内であり、

且つ $1.5 \text{ nm} \geq ((\text{第2の磁性層の膜厚}) - (\text{第1の磁性層の膜厚}))$ 、 $1.5 \text{ nm} \geq ((\text{第4の磁性層の膜厚}) - (\text{第3の磁性層の膜厚}))$ であることを特徴とするデュアルスピバルブ型薄膜素子。

【請求項5】請求項1から3までのいずれかに記載のデュアルスピバルブ型薄膜素子において、前記第1の非磁性導電層の膜厚及び第2の非磁性導電層の膜厚が、共に1.9～2.4 nmの範囲内であることを特徴とするデュアルスピバルブ型薄膜素子。

【請求項6】請求項1から3までのいずれかに記載のデュアルスピバルブ型薄膜素子の、

前記第1の反強磁性層、第1の固定磁性層、第1の非磁性導電層、自由磁性層、第2の非磁性導電層、第2の固定磁性層及び第2の反強磁性層を、RFマグネトロンスパッタリング方式で形成する工程において、

第1の固定磁性層、第1の非磁性導電層、自由磁性層、第2の非磁性導電層及び第2の固定磁性層を、 $9.33 \times 10^{-2} \text{ Pa}$  (0.7 mTorr)以下の低ガス圧状態にて形成することを特徴とするデュアルスピバルブ型薄膜素子の製造方法。

【請求項7】請求項1から3までのいずれかに記載のデュアルスピバルブ型薄膜素子の上下に、ギャップ層を介してシールド層が形成されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、固定磁性層の固定磁化方向と外部磁界の影響を受ける自由磁性層の磁化方向との関係で電気抵抗が変化するスピバルブ型薄膜素子に係り、特に、高記録密度化に対応する自由磁性層を中心としてその上下に非磁性導電層、固定磁性層及び反強磁性層が形成されたデュアルスピバルブ型薄膜素子に関する。

【0002】

【従来の技術】従来のスピバルブ型薄膜素子は、下地層の上に、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層、自由磁性層及び保護層を順に形成した所謂ボトムスピバルブ型薄膜素子、あるいは、下地層の上に、自由磁性層、非磁性導電層、固定磁性層、反強磁性層及び保護層を順に形成した所謂トップスピバルブ型薄膜素子が主流である。

【0003】前記ボトムスピバルブ型薄膜素子及びトップスピバルブ型薄膜素子においては、下地層及び保護層にはTa等、反強磁性層にはNiO、NiMn合金、FeMn合金、IrMn合金、PtMn合金、PdPtMn合金、CrPtMn合金など、固定磁性層にはCo、CoFe合金など、自由磁性層にはNiFe合金、Co、CoFe合金等、非磁性導電層にはCu等が用いられている。また、固定磁性層と反強磁性層が接して形成されることにより、固定磁性層と反強磁性層の界面に交換結合磁界が発生し、固定磁性層の磁化は、所望な方向に固定される。そして、自由磁性層の両端に配置されるCoCrPt合金などで形成される磁区制御層により、自由磁性層の磁化は、固定磁性層の磁化と垂直な方向に揃えられ、外部から磁界のない状態では、磁区のない単磁区状態となっている。

【0004】このスピバルブ型薄膜素子では、ハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界により、自由磁性層の磁化が変動し、自由磁性層の伝導電子が散乱されて、自由磁性層と固定磁性層の磁化方向との関係で電気抵抗が変化し、この電気抵抗の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。よって、スピバルブ型薄膜磁気ヘッドの再生出力を増大させるためには、スピバルブ型薄膜素子の電気抵抗変化率（以下MR比）を大きくすることが非常に重要である。

【0005】前記ボトムスピバルブ型薄膜素子や前記トップスピバルブ型薄膜素子のような所謂シングルスピンバルブ型薄膜素子では、自由磁性層の伝導電子は、固定磁性層に向かって散乱されるだけでなく、固定磁性層から離れる方向にも散乱するが、電気抵抗変化に寄与するのは、自由磁性層と固定磁性層の二つの磁性層間に散乱する伝導電子だけなので、反対方向に散乱する伝導電子はMR比向上に寄与しない。

【0006】特開平5-347013号公報には、よりMR比を大きくするために、自由磁性層を中心としてその上下に非磁性導電層、固定磁性層及び反強磁性層を形

成した所謂デュアルスピバルブ型薄膜素子が開示されている。しかしながら、デュアルスピバルブ型薄膜素子では、二つの固定磁性層が存在するため、固定磁性層から漏れる静磁界が自由磁性層に及ぼす影響が非常に大きくなり、単純に固定磁性層の膜厚を薄くして静磁界を小さくするだけでは、同時にMR比も著しく低下するため、高記録密度化に対応する薄膜磁気ヘッドの実用化においては、固定磁性層から漏れる静磁界を抑える何らかの工夫が必須であるが、それに関する手法は何ら開示されていない。

【0007】特許第3040750号公報には、固定磁性層が非磁性中間層を介して2層に分断されており、この分断された2層の固定磁性層の磁化が互いに反平行状態となるよう形成することによって、固定磁性層から漏れる静磁界を極めて小さく抑えることが可能となる所謂積層フェリ型固定層が開示されている。特許第3040750号公報の実施形態に於いては、前記積層フェリ型固定層を上下に用いたデュアルスピバルブ型薄膜素子が開示されているが、デュアルスピバルブ型薄膜素子の特性を発揮させるためには、自由磁性層側の固定磁性層の磁化を上下共に同じ方向に固定しておく必要があり、その状態で上下の積層フェリ型固定層から漏れる静磁界をキャンセルさせて固定磁性層の熱的安定性をさらに高めるために、反強磁性層側の固定磁性層の膜厚と自由磁性層側の固定磁性層の膜厚との大小関係を上下で逆にしてある。

【0008】即ち、下側反強磁性層に接する固定磁性層を第1の磁性層、自由磁性層側の固定磁性層を第2の磁性層、上側反強磁性層に接する固定磁性層を第3の磁性層、自由磁性層側の固定磁性層を第4の磁性層とすると、（第1の磁性層の膜厚）>（第2の磁性層の膜厚）、且つ（第3の磁性層の膜厚）<（第4の磁性層の膜厚）、あるいは（第1の磁性層の膜厚）<（第2の磁性層の膜厚）、且つ（第3の磁性層の膜厚）>（第4の磁性層の膜厚）という関係になっている。

【0009】しかしながら、積層フェリ型固定層に於いては、MR比に直接関与するのは、自由磁性層側の固定磁性層（前記第2の磁性層と第4の磁性層）のみであり、反強磁性層側の固定磁性層（前記第1の磁性層と第3の磁性層）は、自由磁性層側の固定磁性層の磁化を一定方向に固定しておくためのいわば補助的な役割を担っているにすぎず、むしろシャントロスを伴う等、反強磁性層側の固定磁性層の膜厚を大きくすると、MR比低下を招く。

【0010】特許第3040750号の別の実施形態に於いては、自由磁性層も前記積層フェリ型固定層と同様に積層フェリ状態とした積層フェリ型自由層を用いたデュアルスピバルブ型薄膜素子が開示されている。積層フェリ型自由層は、自由磁性層の実質的な膜厚を薄くすることなく、自由磁性層の飽和磁束密度Bsと膜厚tの

積で表される磁気的膜厚（以下 $B_s \cdot t$ ）を低減することができるため、MR比低下を抑えつつ、ハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界に対する自由磁性層の感度向上が見込めるものの、デュアルスピバルブ型薄膜素子との組み合わせでは、自由磁性層が非磁性中間層で分断されているため、本来デュアルスピバルブ型薄膜素子で期待されるMR比向上が認められず、実用的ではない。

【0011】また、デュアルスピバルブ型薄膜素子では、自由磁性層と固定磁性層の組み合わせが二組存在するため、シングルスピンバルブ型薄膜素子に比べ、自由磁性層と固定磁性層間に働く層間結合磁界（以下 $H_{int}$ ）の制御などが非常に困難であり、また、その構造上、自由磁性層の磁歪（以下 $\lambda$ ）に対する特性変動が顕著なため、自由磁性層の $\lambda$ を適正な値に制御する必要性があるが、その手法に関する記述は何ら開示されていない。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、高記録密度化に対応したデュアルスピバルブ型薄膜素子に於いて、上記従来の問題点を解決するものであり、特に、固定磁性層の構造及び膜厚と自由磁性層の材質及び膜厚構成を改良・適正化することによって、MR比を更に向上させて、しかも自由磁性層と固定磁性層間に働く $H_{int}$ を適正な値に制御し、良好な軟磁気特性と適正な $\lambda$ を示す自由磁性層を有するデュアルスピバルブ型薄膜素子並びにその製造方法を提供し、高出力で特性変動の少ない安定した薄膜磁気ヘッドを提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を解決するために、第1の反強磁性層、第1の固定磁性層、第1の非磁性導電層、自由磁性層、第2の非磁性導電層、第2の固定磁性層及び第2の反強磁性層を積層したデュアルスピバルブ型薄膜素子に於いて、前記第1の固定磁性層は、前記第1の反強磁性層に接し、前記第1の反強磁性層と交換結合磁界により磁化方向が固定される第1の磁性層と非磁性中間層を介して重ねられる第2の磁性層の2層で形成される積層フェリ型固定層であり、前記第2の固定磁性層は、前記第2の反強磁性層に接し、前記第2の反強磁性層と交換結合磁界により磁化方向が固定される第3の磁性層と非磁性中間層を介して重ねられる第4の磁性層の2層で形成される積層フェリ型固定層であって、前記自由磁性層はNiFe合金、Co及びCoFe合金の内、少なくとも1種以上の積層膜から形成されており、前記（第1の磁性層の膜厚）<（第2の磁性層の膜厚）、且つ前記（第3の磁性層の膜厚）<（第4の磁性層の膜厚）であることを特徴とするデュアルスピバルブ型薄膜素子を用い、高出力で特性変動の少ない安定した薄膜磁気ヘッドを実現するもので

ある。

【0014】積層フェリ型固定層を有するデュアルスピバルブ型薄膜素子においては、MR比に直接関与するのは、自由磁性層側の固定磁性層（前記第2の磁性層と第4の磁性層）のみであり、反強磁性層側の固定磁性層（前記第1の磁性層と第3の磁性層）は、自由磁性層側の固定磁性層の磁化を一定方向に固定しておくためのいわば補助的な役割を担っているにすぎないので、反強磁性層側の固定磁性層の膜厚を大きくすると、シャントロスを生じ、MR比は低下するため、よりMR比を向上させるためには、上下共に自由磁性層側の固定磁性層の膜厚を反強磁性層側の固定磁性層の膜厚より大きくすることが必要である。

【0015】また、自由磁性層側の固定磁性層の膜厚より反強磁性層側の固定磁性層の膜厚を大きくすると、ESD（静電気放電）やプロセス中の磁区制御層の着磁処理等により、非常に大きな磁界が加わった場合、必ずしも自由磁性層側の固定磁性層の磁化と反強磁性層側の固定磁性層の磁化が完全な反平行状態に戻らず、結果としてMR比変動に繋がる恐れがあり、その意味からも、上下共に自由磁性層側の固定磁性層の膜厚を反強磁性層側の固定磁性層の膜厚より大きくすることが必要である。

【0016】しかしながら、デュアルスピバルブ型薄膜素子の特性を発揮させるためには、自由磁性層側の固定磁性層の磁化を上下共に同じ方向に固定しておく必要があるため、上下共に自由磁性層側の固定磁性層の膜厚を反強磁性層側の固定磁性層の膜厚より大きくしすぎると、固定磁性層から漏れる静磁界が自由磁性層に及ぼす影響が大きくなるため、好ましくない。

【0017】そこで、本発明では、前記第1の磁性層の膜厚、第2の磁性層の膜厚、第3の磁性層の膜厚及び第4の磁性層の膜厚が、 $1 \sim 5 \text{ nm}$ の範囲内であり、且つ $1.5 \text{ nm} \geq ((\text{第2の磁性層の膜厚}) - (\text{第1の磁性層の膜厚}))$ 、 $1.5 \text{ nm} \geq ((\text{第4の磁性層の膜厚}) - (\text{第3の磁性層の膜厚}))$ であることが好ましい。

【0018】また、本発明は、第1の反強磁性層、第1の固定磁性層、第1の非磁性導電層、自由磁性層、第2の非磁性導電層、第2の固定磁性層及び第2の反強磁性層を積層したデュアルスピバルブ型薄膜素子において、前記第1の固定磁性層は、前記第1の反強磁性層に接し、前記第1の反強磁性層と交換結合磁界により磁化方向が固定される第1の磁性層と非磁性中間層を介して重ねられる第2の磁性層の2層で形成される積層フェリ型固定層であり、前記第2の固定磁性層は、前記第2の反強磁性層に接し、前記第2の反強磁性層と交換結合磁界により磁化方向が固定される第3の磁性層と非磁性中間層を介して重ねられる第4の磁性層の2層で形成される積層フェリ型固定層であって、前記自由磁性層はNiFe合金とCoFe合金から形成されており、前記自由磁性層の膜厚が、 $2 \sim 4.5 \text{ nm}$ の範囲内であり、且つ



前記(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)が、0.5~3.5の範囲内であることを特徴とするデュアルスピバルブ型薄膜素子を用い、高出力で特性変動の少ない安定した薄膜磁気ヘッドを実現するものである。

【0019】デュアルスピバルブ型薄膜素子では、自由磁性層と固定磁性層の組み合わせが二組存在するため、シングルスピンバルブ型薄膜素子に比べ、固定磁性層と自由磁性層間に働くH<sub>int</sub>の制御が非常に困難である。H<sub>int</sub>が大きすぎると、磁界-抵抗検出曲線が線形からずれて、再生信号に大きな非対称性が生じ、高MR比のデュアルスピバルブ型薄膜素子を用いても、再生出力が低下してしまうため、H<sub>int</sub>は適正な値に制御する必要がある。また、デュアルスピバルブ型薄膜素子の構造上、自由磁性層の入が大きすぎると、環境温度に敏感となり、λの正負の違いによって、低温状態または高温状態における特性変動が顕著となるため、特性変動の少ない安定したデュアルスピバルブ型薄膜素子を実現するためには、自由磁性層の入は適正な値に制御する必要がある。

【0020】自由磁性層に用いる材質としては、高MR比を実現できるCoFe合金が望ましいが、良好な軟磁気特性を得るためには、NiFe合金と組み合わせる必要がある。また、CoFe合金のみでは、λの制御が非常に困難であるため、その意味においてもCoFe合金とNiFe合金を組み合わせ、適切な膜厚構成とする必要があり、前記(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)は、0.5~3.5の範囲内とする必要がある。更に、高記録密度化におけるハードディスク等の記録媒体のB<sub>s</sub>・tの低減に伴い減少する媒体磁界に対して十分な自由磁性層磁化回転角を維持するためには、自由磁性層のB<sub>s</sub>・t低減が有効であるが、薄膜化すると、自由磁性層の外側の界面での伝導電子の散乱がスピナップ電子とスピンドウン電子の平均自由行程の差を減少させ、MR比を低下させるという問題があるため、自由磁性層全体についても、適切な膜厚とする必要があり、前記自由磁性層の膜厚は、2~4.5nmの範囲内とする必要がある。

【0021】更に、固定磁性層と自由磁性層間に働くH<sub>int</sub>を適正な値に制御しつつも、高MR比を実現するためには、本発明では、前記第1の非磁性導電層の膜厚及び第2の非磁性導電層の膜厚が、共に1.9~2.4nmの範囲内であることが好ましい。

【0022】また、高MR比を示すデュアルスピバルブ型薄膜素子であって、しかも自由磁性層と固定磁性層間に働くH<sub>int</sub>を適正な値に制御し、良好な軟磁気特性と適正な磁歪を示す自由磁性層を有するデュアルスピバルブ型薄膜素子を実現するためには、前記第1の反強磁性層、第1の固定磁性層、第1の非磁性導電層、自由磁性層、第2の非磁性導電層、第2の固定磁性層及び第2の反強磁性層を、RFマグネトロンスパッタリング

方式で形成し、特に第1の固定磁性層、第1の非磁性導電層、自由磁性層、第2の非磁性導電層及び第2の固定磁性層を、 $9.33 \times 10^{-2}$  Pa (0.7mTorr)以下の低ガス圧状態にて形成することが好ましい。

【0023】従来、スピバルブ型薄膜素子を形成する際には、DCマグネトロンスパッタリング方式が用いられることが多いが、これをRFマグネトロンスパッタリング方式で行うことにより、基板セルフバイアスの効果から、各膜を非常に平滑に形成することが可能である。固定磁性層と自由磁性層間に働くH<sub>int</sub>は、固定磁性層と自由磁性層の膜厚や静磁界に依存するだけでなく、固定磁性層と非磁性導電層及び非磁性導電層と自由磁性層の各界面幅にも強く依存し、界面幅を小さく抑えることによって、H<sub>int</sub>を低減できる。その結果、非磁性導電層の膜厚をより小さくでき、高MR比を実現できる。また、特に固定磁性層、非磁性導電層、自由磁性層を $9.33 \times 10^{-2}$  Pa (0.7mTorr)以下の低ガス圧状態にて形成することによって、不純物の少ない緻密な膜を形成することが可能である。不純物の少ない緻密な膜を形成することにより、比抵抗を小さくし、MR比向上に寄与する部分の分流比を向上させて、高MR比が実現できると共に、自由磁性層は、良好な軟磁気特性を示し、λの制御もより容易となる。

【0024】更に、本発明は、第1の反強磁性層、第1の固定磁性層、第1の非磁性導電層、自由磁性層、第2の非磁性導電層、第2の固定磁性層及び第2の反強磁性層を積層したデュアルスピバルブ型薄膜素子において、前記第1の固定磁性層は、前記第1の反強磁性層に接し、前記第1の反強磁性層と交換結合磁界により磁化方向が固定される第1の磁性層と非磁性中間層を介して重ねられる第2の磁性層の2層で形成される積層フェリ型固定層であり、前記第2の固定磁性層は、前記第2の反強磁性層に接し、前記第2の反強磁性層と交換結合磁界により磁化方向が固定される第3の磁性層と非磁性中間層を介して重ねられる第4の磁性層の2層で形成される積層フェリ型固定層であって、前記(第1の磁性層の膜厚)<(第2の磁性層の膜厚)、且つ前記(第3の磁性層の膜厚)<(第4の磁性層の膜厚)であり、前記自由磁性層はNiFe合金とCoFe合金から形成されており、前記自由磁性層の膜厚が、2~4.5nmの範囲内であり、且つ前記(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)が、0.5~3.5の範囲内であることを特徴とするデュアルスピバルブ型薄膜素子を用い、その上下に、ギャップ層を介してシールド層を形成し、高出力で特性変動の少ない安定した薄膜磁気ヘッドを実現するものである。

【0025】

【発明の実施の形態】本発明の実施形態を、以下、図を用いて説明する。

【0026】図1、図2は、本発明の実施形態のデュア

ルスピンバルブ型薄膜素子を用いた代表的な薄膜磁気ヘッドの素子部を示したものであり、図1は素子部の斜視図、図2は媒体対向面の素子断面図である。AlTiCからなる基板23上にベース層24としてアルミナ、下部磁気シールド層25としてNiFe合金、下部ギャップ層26としてアルミナを形成し、この上部にデュアルスピンバルブ型薄膜素子1を形成するが、このデュアルスピンバルブ型薄膜素子1は後述する様に15~16層の膜から構成される。次にこのデュアルスピンバルブ型薄膜素子1を所定の形状に加工し、磁区制御下地層17としてCr、磁区制御層18としてCoCrPt合金、電極層19としてTaを形成する。尚、電極層19としては、より比抵抗の小さいAu等を用いてもよい。更にその上部に上部ギャップ層27としてアルミナ、上部磁気シールド層28としてNiFe合金を形成し、続いて記録用の誘導型磁気ヘッド素子であるライトギャップ29、コイル30、層間絶縁層31、上部磁極32、保護層33と順次積層形成する。

【0027】尚、上部磁気シールド層28は、上部磁気シールドと下部磁極を共用する所謂マージド型構造だけでなく、再生ノイズ抑止を目的とした上部磁気シールドと下部磁極がアルミナを介して分離された所謂ビギバック型構造であってもよい。更に、下部磁極については、記録漏れを防止し、記録再生性能を向上させるため、所定の形状にトリミング加工を施す場合もある。

【0028】図3は、図2に於いてデュアルスピンバルブ型薄膜素子部を拡大した断面図、図4は、デュアルスピンバルブ型薄膜素子の構造を模式的に示した横断面図である。図3及び図4に示すデュアルスピンバルブ型薄膜素子1は、下から下地層2、第1の反強磁性層3、第1の固定磁性層20（第1の磁性層4、第1の非磁性中間層5、第2の磁性層6の3層構造）、第1の非磁性導電層7、自由磁性層21（CoFe合金膜（下）8、NiFe合金膜9、CoFe合金膜（上）10の3層構造）、第2の非磁性導電層11、第2の固定磁性層22（第4の磁性層12、第2の非磁性中間層13、第3の磁性層14の3層構造）、第2の反強磁性層15、及び保護層16の順で積層されている。

【0029】下地層2には、配向制御を行うため、Ta1nm-NiFe合金2.5nmの2層膜を用いた。尚、Ta-NiFe合金に替えて、比抵抗が高く、且つ配向制御性の高いNiFeCr合金やTa、NiFe合金及びNiFeCr合金を組み合わせた下地層を用いてもよい。また、下地層へ流れる電流は、シャントロスとなり、MR比低下の原因となるため、下地層の膜厚は必要以上に大きくすることは好ましくなく、今回採用したTa1nm-NiFe合金2.5nmというのは、配向制御に必要な膜厚として選択したものであり、Taは0.5nm~3nm、NiFe合金は1.5nm~5nmの範囲内であればよい。

【0030】第1の反強磁性層3及び第2の反強磁性層15には、PtMn合金12nmを用いた。尚、ここで用いたPtMn合金は、交換結合境界及びブロッキング温度が高く、耐食性に優れた反強磁性層として好ましい材料ではあるが、NiO、NiMn合金、FeMn合金、IrMn合金、PdPtMn合金、CrPtMn合金等を用いてもよい。また、反強磁性層の膜厚についても、反強磁性層へ流れる電流は、シャントロスとなり、MR比低下の原因となるので、必要以上に大きくすることは好ましくなく、固定磁性層と交換結合を十分に行える膜厚としてPtMn合金12nmを選択したが、8nm~15nmの範囲内であればよい。

【0031】第1の固定磁性層20の内、第1の磁性層4及び第2の磁性層6、並びに第2の固定磁性層22の内、第3の磁性層14及び第4の磁性層12には、CoFe合金を用いた。また、前記第1の磁性層4の膜厚、第2の磁性層6の膜厚、第3の磁性層14の膜厚及び第4の磁性層12の膜厚は、1~5nmの範囲内であり、且つ $1.5\text{nm} \geq (\text{第2の磁性層6の膜厚}) - (\text{第1の磁性層4の膜厚})$ 、 $1.5\text{nm} \geq (\text{第4の磁性層12の膜厚}) - (\text{第3の磁性層14の膜厚})$ であることが好ましく、本実施例では、前記第1の磁性層4の膜厚及び第3の磁性層14の膜厚を共に1.5nm、前記第2の磁性層6の膜厚及び第4の磁性層12の膜厚を共に2nmとした。

【0032】これは、上下共に自由磁性層側の固定磁性層の膜厚（前記第2の磁性層6の膜厚及び第4の磁性層12の膜厚）を反強磁性層側の固定磁性層の膜厚（前記第1の磁性層4の膜厚及び第3の磁性層14の膜厚）より大きくすることによって、MR比を向上させることが第1の目的であるが、MR比は自由磁性層側の固定磁性層の膜厚（前記第2の磁性層6の膜厚及び第4の磁性層12の膜厚）が3nm程度で最大となり、5nmより大きくなると、MR比低下が著しくなるため、それ以上大きくすることはむしろ逆効果となる。

【0033】また、1.5nmより小さい場合でも同様にMR比低下が著しくなるため、自由磁性層側の固定磁性層の膜厚（前記第2の磁性層6の膜厚及び第4の磁性層12の膜厚）は1.5nm~5nmの範囲内であることが好ましい。

【0034】一方、反強磁性層側の固定磁性層の膜厚（前記第1の磁性層4の膜厚及び第3の磁性層14の膜厚）については、反強磁性層側の固定磁性層（前記第1の磁性層4と第3の磁性層14）は、自由磁性層側の固定磁性層（前記第2の磁性層6及び第4の磁性層12）の磁化を一定方向に固定しておくためのいわば補助的な役割を担っているにすぎないので、必要以上に大きくすることはシャントロスとなるため好ましくなく、3.5nm以下であることが好ましい。

【0035】しかしながら、1nmより小さい場合では

十分な交換結合磁界が発生せずに、固定磁性層の磁化は十分に固定されないため、反強磁性層側の固定磁性層の膜厚（前記第1の磁性層4の膜厚及び第3の磁性層14の膜厚）は1 nm～3.5 nmの範囲内であることが好ましい。このように、MR比向上のためには、自由磁性層側の固定磁性層の膜厚（前記第2の磁性層6の膜厚及び第4の磁性層12の膜厚）は、1.5 nm～5 nmの範囲内で比較的大きい方が好ましく、反強磁性層側の固定磁性層の膜厚（前記第1の磁性層4の膜厚及び第3の磁性層14の膜厚）は、1 nm～3.5 nmの範囲内でできるだけ小さい方が好ましいことが分かるが、MR比向上のみを最優先に考えると、必然的に自由磁性層側の固定磁性層の膜厚（前記第2の磁性層6の膜厚及び第4の磁性層12の膜厚）と反強磁性層側の固定磁性層の膜厚（前記第1の磁性層4の膜厚及び第3の磁性層14の膜厚）の差が大きくなり、固定磁性層から漏れる静磁界が自由磁性層に及ぼす影響が著しく大きくなるため、再生波形の非対称性制御が非常に困難となり、好ましくないため、1.5 nm≧（（第2の磁性層6の膜厚）－

（第1の磁性層4の膜厚））、1.5 nm≧（（第4の磁性層12の膜厚）－（第3の磁性層14の膜厚））であることが好ましい。尚、ここで用いたCoFe合金は、固定磁性層に用いられる代表的で好ましい材料として選択したが、Co、Fe、Niの単体またはこれらを含む他の合金などを用いてもよい。

【0036】第1の非磁性中間層5及び第2の非磁性中間層13には、Ru；0.8 nmを用いた。尚、Ruは、上下二つの磁性層間に働く交換結合磁界（RKKY相互作用）が大きだけでなく、膜厚に対する交換結合磁界（RKKY相互作用）依存性が小さく、制御性のよい好ましい材料ではあるが、Cr、Rh及びIrの単体またはこれらの金属及びRuを含む他の合金などを用いてもよい。また、今回採用したRu；0.8 nmというのは、Ru膜厚に対する交換結合磁界（RKKY相互作用）依存性が小さく、制御性のよい膜厚領域であり、交換結合磁界（RKKY相互作用）も79 kA/m（1 kOe）以上と必要十分な大きさを確保できる膜厚として選択したものであるが、0.7 nm～0.9 nmの範囲内であればよい。

【0037】第1の非磁性導電層7及び第2の非磁性導電層11には、Cuを用いた。非磁性導電層の膜厚を小さくすると、MR比が向上することは公知であるが、それに伴い、Hintの大きさも変化し、特に1.9 nmより小さい場合では、Hintは著しく増大し、好ましくない。また、逆に2.4 nmより大きい場合では、MR比低下が著しくなり、これも好ましくないため、前記第1の非磁性導電層7の膜厚及び第2の非磁性導電層11の膜厚は、共に1.9～2.4 nmの範囲内であることが好ましく、本実施例では、前記第1の非磁性導電層7の膜厚及び第2の非磁性導電層11の膜厚は、共に2.

1 nmとした。

【0038】自由磁性層21には、CoFe合金膜（下）8-NiFe合金膜9-CoFe合金膜（上）10の3層膜を用いた。尚、後述するが、前記自由磁性層21の総膜厚は、2～4.5 nmの範囲内であり、且つ前記（NiFe合金9の膜厚/CoFe合金8、10の総膜厚）は、0.5～3.5の範囲内であることが好ましい。

【0039】保護層16には、Ta 2 nmを用いた。

【0040】前記デュアルスピンバルブ型薄膜素子1は、室温にて、RFマグネトロンスパッタリング方式で形成し、特に固定磁性層、非磁性導電層及び自由磁性層については、 $9.33 \times 10^{-2}$  Pa（0.7 mTorr）以下のスパッタガス圧で形成した。この方式は、各膜を非常に平滑に形成し、特に固定磁性層、非磁性導電層及び自由磁性層については、不純物の少ない緻密な膜を形成することができるため、高MR比が実現できると共に、自由磁性層は、良好な軟磁気特性を示し、λの制御もより容易となるため、好ましい方式ではあるが、DCマグネトロンスパッタリング方式など別のスパッタリング方式を用いて作製してもよい。

【0041】前記デュアルスピンバルブ型薄膜素子1を形成した後、デュアルスピンバルブ型薄膜素子の特性を発揮させるため、自由磁性層側の固定磁性層（第2の磁性層6と第4の磁性層12）の磁化を上下共に同じ方向に固定しておく必要があるため、図3、図4において、Y方向に $11.85 \times 10^2$  kA/m（15 kOe）の磁界を印加しながら270℃で3時間の磁場中熱処理を真空中で行った。本発明の実施形態の積層フェリ型固定層における非磁性中間層を介した固定磁性層の交換結合磁界（RKKY相互作用）は、高々 $7.90 \times 10^2$  kA/m（10 kOe）程度以下なので、上記磁場中熱処理中には、固定磁性層の磁化は全てY方向に揃う。そこから、温度を下げて、印加磁界を取り除くと、反強磁性層側の固定磁性層（第1の磁性層4と第3の磁性層14）の磁化は、反強磁性層との界面で発生する交換結合磁界により、共に図示Y方向を向き、一方、自由磁性層側の固定磁性層（第2の磁性層6と第4の磁性層12）の磁化は、反強磁性層側の固定磁性層（第1の磁性層4と第3の磁性層14）との交換結合磁界（RKKY相互作用）によって、共に図示Y方向と反対方向に向けられて固定される。

【0042】次に、本実施例のデュアルスピンバルブ型薄膜素子の特性について説明する。特性の評価は、AlTiC基板上に表1の構成のデュアルスピンバルブ型薄膜素子を作製し、磁気抵抗曲線によって行った。尚、作製方法は上記のとおりである。

【0043】表1に、本実施例のデュアルスピンバルブ型薄膜素子の特性の評価のための作製したAlTiC基板の材質・組成及び膜厚等の構成を示す。



【0044】

【表1】

表1

層		材質・組成	膜厚 (nm)
基板		AlTiC	—
下地層 (下-上)		Ta-Ni90Fe10wt%	1-2.5
第1の反強磁性層		Pt50Mn50at%	12
第1の固定磁性層	第1の磁性層	Co90Fe10at%	1.5
	第1の非磁性中間層	Ru	0.8
	第2の磁性層	Co90Fe10at%	2
第1の非磁性導電層		Cu	2.1
自由磁性層	CoFe合金膜 (下)	Co90Fe10at%	0.25~2
	NiFe合金膜	Ni90Fe10wt%	0~4.5
	CoFe合金膜 (上)	Co90Fe10at%	0.25~2
第2の非磁性導電層		Cu	2.1
第2の固定磁性層	第4の磁性層	Co90Fe10at%	2
	第2の非磁性中間層	Ru	0.8
	第3の磁性層	Co90Fe10at%	1.5
第2の反強磁性層		Pt50Mn50at%	12
保護層		Ta	2

【0045】また、比較のために、従来のデュアルスピントラップ型薄膜素子とボトムスピントラップ型薄膜素子をそれぞれ表2、表3の様な構成で作製し、同様な評価を行った。尚、作製方法は本実施例のデュアルスピントラップ型薄膜素子と同様である。

【0046】まず、本実施例のデュアルスピントラップ型薄膜素子の自由磁性層を、CoFe合金 (下) 1nm-NiFe合金 2nm-CoFe合金 (上) 1nmとして、磁気抵抗曲線を測定した。尚、この膜厚構成は、後述する良好な軟磁気特性を示し、適正な $H_{int}$ 及び入

を示す自由磁性層膜厚構成の代表的なものである。本実施例のデュアルスピントラップ型薄膜素子の磁気抵抗曲線を、比較のために作製した従来のデュアルスピントラップ型薄膜素子及びボトムスピントラップ型薄膜素子の磁気抵抗曲線と共に、図5に示す。

【0047】表2に、比較のために、従来のデュアルスピントラップ型薄膜素子を特性の評価する為に作製したAlTiC基板の材質・組成及び膜厚等の構成を示す。

【0048】

【表2】

表2

層		材質・組成	膜厚 (nm)
基板		AlTiC	—
下地層 (下-上)		Ta-Ni90Fe10wt%	1-2.5
第1の反強磁性層		Pt50Mn50at%	12
第1の固定磁性層	第1の磁性層	Co90Fe10at%	1.5
	第1の非磁性中間層	Ru	0.8
	第2の磁性層	Co90Fe10at%	2
第1の非磁性導電層		Cu	2.1
自由磁性層	CoFe合金膜 (下)	Co90Fe10at%	1
	NiFe合金膜	Ni90Fe10wt%	4
	CoFe合金膜 (上)	Co90Fe10at%	1
第2の非磁性導電層		Cu	2.1
第2の固定磁性層	第4の磁性層	Co90Fe10at%	1.5
	第2の非磁性中間層	Ru	0.8
	第3の磁性層	Co90Fe10at%	2
第2の反強磁性層		Pt50Mn50at%	12
保護層		Ta	2

【0049】また、表3に、比較のために、従来のボトムスピントラップ型薄膜素子を特性の評価する為に作製したAlTiC基板の材質・組成及び膜厚等の構成を

示す。

【0050】

【表3】

表3

層		材質・組成	膜厚 (nm)
基板		AlTiC	—
下地層 (下—上)		Ta-Ni85Fe15wt%	1-2.5
反強磁性層		Pt50Mn50at%	1.2
固定磁性層	第1の磁性層	Co90Fe10at%	1.5
	非磁性中間層	Ru	0.8
	第2の磁性層	Co90Fe10at%	2
非磁性導電層		Cu	2.1
自由磁性層	CoFe合金膜	Co90Fe10at%	1
	NiFe合金膜	Ni85Fe15wt%	4
保護層		Ta	2

【0051】図5より、本実施例のデュアルスピバルブ型薄膜素子のMR比が13%であることがわかる。これに対し、従来のデュアルスピバルブ型薄膜素子及びボトムスピバルブ型薄膜素子のMR比はそれぞれ11%及び8%であることがわかる。

【0052】また、図5より、本実施例のデュアルスピバルブ型薄膜素子と従来のボトムスピバルブ型薄膜素子には、外部磁界の正側に顕著なヒステリシスが認められないが、従来のデュアルスピバルブ型薄膜素子には、外部磁界の正側に大きなヒステリシスが認められる。これは、前記第2の固定磁性層において、自由磁性層側の固定層より反強磁性層側の固定層の膜厚を大きく形成したためであり、自由磁性層側の固定層と反強磁性層側の固定層の膜厚差を大きくすればする程、また、反強磁性層側の固定層の膜厚自体を大きくすればする程、より顕著となり、その影響は、外部磁界ゼロ近傍にまで及ぶことを確認している。

【0053】このことは、積層フェリ型固定層を用いたスピバルブ型薄膜素子に共通の現象だが、自由磁性層側の固定層より反強磁性層側の固定層の膜厚を大きくしていくと、自由磁性層側の固定層と反強磁性層側の固定層の交換結合磁界（RKKY相互作用）自体は大きくなるが、反強磁性層側の固定層と反強磁性層間の交換結合磁界が低下し、ESD（静電気放電）やプロセス中の磁区制御層の着磁処理などにより、非常に大きな磁界が加わって、自由磁性層側の固定層の磁化と反強磁性層側の磁性層の磁化の反平行状態が崩れると、必ずしも自由磁性層側の固定層の磁化と反強磁性層側の磁性層の磁化が完全な反平行状態に戻らず、結果としてMR比の変動に繋がる恐れがあり、非常に不安定であることを示唆している。

【0054】したがって、上下共に自由磁性層側の固定磁性層の膜厚を反強磁性層側の固定磁性層の膜厚より大きくした本実施例のデュアルスピバルブ型薄膜素子は、従来のボトムスピバルブ型薄膜素子より遥かに高出力であり、従来のデュアルスピバルブ型薄膜素子と比較しても、高出力で、安定した構造であることが理解できる。

【0055】次に、本実施例のデュアルスピバルブ型薄膜素子に於いて、自由磁性層を構成するCoFe合金

(下) - NiFe合金 - CoFe合金(上)の膜厚を変化させた場合のMR比、 $H_{int}$ 、 $\lambda$ の変化について述べる。尚、CoFe合金(下) - NiFe合金 - CoFe合金(上)の膜厚は、前記表1に記載した範囲内であり、CoFe合金(下)及びCoFe合金(上)は同膜厚となるように変化させた。

【0056】ところで、従来の積層フェリ型固定層を用いたデュアルスピバルブ型薄膜素子については、斎藤正路らによる論文「PtMn single and dual spin valves with synthetic ferrimagnet pinned layers」(JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol.85, p.4928-4930 (1999))に開示されているように、そのMR比は高々11%程度である。また、斎藤正路らによる講演「PtMnデュアルスピバルブ膜の総膜厚低減と抵抗変化率の向上」(日本応用磁気学会学術講演概要集, p.417 (1999))では、自由磁性層にCo単層膜を用いたデュアルスピバルブ型薄膜素子に於いて、最大MR比13.5%程度得られることが開示されているが、自由磁性層の軟磁気特性や $\lambda$ 並びに $H_{int}$ については、何ら開示されておらず、詳細は後述するが、自由磁性層にCo単層膜を用いることは実用的ではない。

【0057】図6は、前記自由磁性層のNiFe合金の膜厚とCoFe合金の総膜厚の比(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)を横軸とし、MR比を縦軸にとった、MR比 - (NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)の関係を現わすグラフであり、自由磁性層の総膜厚をパラメータとし、1.5nm、2nm、3nm、4nm、4.5nm、5nmの場合を示してある。自由磁性層の総膜厚を4.5nmよりも大きくすると、結果的に自由磁性層の $B_s \cdot t$ が大きくなり、媒体磁界に対する感度が大幅に低下するため、好ましくない。また、図6から明らかなように、MR比は、自由磁性層の総膜厚3nm程度でピークとなり、それより大きくても、また小さくても低下する傾向にある。つまり、自由磁性層の総膜厚を大きくすると、媒体磁界に対する感度が低下するだけでなく、MR比低下が顕著となるので、自由磁性層の総膜厚は4.5nm以下である必要がある。一方、自由磁性層の総膜厚を小さくすると、媒体磁界に対する感度が向上し、再生出力の向上が期待できるが、2nmより小さくなると、MR比の低下が著しく、結果的に再

生出力は低下する。よって、自由磁性層の総膜厚は2nm以上である必要がある。

【0058】更に、図6より、(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)を小さくすると、MR比は大きくなる傾向にある。しかしながら、CoFe合金の膜厚の割合を大きくし過ぎると、後述するが、自由磁性層の軟磁気特性が劣化し、 $H_{int}$ や $\lambda$ の制御が困難となるため、(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)は0.5以上である必要がある。逆に、CoFe合金の膜厚の割合を小さくし過ぎると、MR比の低下が顕著となるため好ましくないので、(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)は3.5以下である必要がある。

【0059】この時、本実施例のデュアルスピンバルブ型薄膜素子は、MR比 $\geq 11.5\%$ という従来の実用可能なデュアルスピンバルブ型薄膜素子で示されるMR比11%を超える高MR比を示す。

【0060】図7は、前記自由磁性層のNiFe合金の膜厚とCoFe合金の総膜厚の比(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)を横軸とし、 $H_{int}$ を縦軸にとった、 $H_{int}$ -(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)の関係を現わすグラフであり、自由磁性層の総膜厚をパラメータとし、1.5nm、2nm、3nm、4nm、4.5nm、5nmの場合を示してある。自由磁性層の総膜厚を小さくしていくと、 $H_{int}$ は大きくなる傾向があり、特に、1.5nmでは、 $2.37kA/m$ (300e)程度以上と非常に大きくなる。 $H_{int}$ が大きすぎると、磁界-抵抗検出曲線が線形からずれて、再生信号に大きな非対称性が生じ、再生出力が低下してしまうため、好ましくないので、自由磁性層の総膜厚は2nm以上である必要がある。

【0061】一方、自由磁性層の総膜厚を大きくすると、 $H_{int}$ は小さくなり、安定する傾向にあるものの、前述したように、自由磁性層の総膜厚を大きくし過ぎると、媒体磁界に対する感度が低下するだけでなく、MR比低下が顕著となるので、自由磁性層の総膜厚は4.5nm以下である必要がある。

【0062】更に、図7より、 $H_{int}$ に関しては、(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)を小さくすると、僅かながら $H_{int}$ が大きくなる傾向にあるが、概ね $H_{int}$ の(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)に対する顕著な依存性は認められないものの、後述するが、(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)が0.5より小さくなると、 $\lambda$ の制御が非常に困難となり、好ましくないので、(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)は0.5以上である必要があり、また、前述したとおり、(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)が3.5より大きくなると、MR比の低下が顕著となるため、好ましくないので、(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)は3.5以下である必要がある。

【0063】この時、本実施例のデュアルスピンバルブ型薄膜素子は、 $H_{int} \leq 1.58kA/m$ (200e)という良好な特性を示す。

【0064】図8は、前記自由磁性層のNiFe合金の膜厚とCoFe合金の総膜厚の比(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)を横軸とし、 $\lambda$ を縦軸にとった、 $\lambda$ -(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)の関係を現わすグラフであり、自由磁性層の総膜厚をパラメータとし、1.5nm、2nm、3nm、4nm、4.5nm、5nmの場合を示してある。自由磁性層の総膜厚を小さくしていくと、 $\lambda$ は正側に大きくなる傾向があり、特に、1.5nmでは、 $15 \times 10^{-7}$ 程度と正に非常に大きくなる。自由磁性層の $\lambda$ が大きすぎると、環境温度に敏感となり、 $\lambda$ の正負の違いによって、低温状態または高温状態における特性変動が顕著となるため、特性変動の少ない安定したデュアルスピンバルブ型薄膜素子を実現するためには、自由磁性層の $\lambda$ はゼロ近傍(概ね $\pm 10 \times 10^{-7}$ 以内)に制御する必要があるため、自由磁性層の総膜厚は2nm以上である必要がある。一方、自由磁性層の総膜厚を大きくすると、 $\lambda$ は負側に動き、小さくなり、安定する傾向にあるものの、前述したように、自由磁性層の総膜厚を大きくし過ぎると、媒体磁界に対する感度が低下するだけでなく、MR比低下が顕著となるので、自由磁性層の総膜厚は4.5nm以下である必要がある。

【0065】更に、図8より、(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)を小さくすると、0.5程度までは、顕著な変化が認められないが、0.5より小さくなるにつれて、 $\lambda$ の(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)依存性が急激に顕著となり、CoFe合金単層膜では、 $-30 \times 10^{-7} \sim -10 \times 10^{-7}$ 程度と負に非常に大きくなる。これは、NiFe合金とCoFe合金の界面幅に対して、NiFe合金の膜厚の割合が小さくなるために起こる現象であり、CoFe合金はNiFe合金より、 $\lambda$ に関して、膜厚や組成の依存性が極めて大きいために起こる現象であるが、 $\lambda$ を良好に制御し、適正な値とするためには、(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)は0.5以上必要であることがわかる。しかしながら、前述したように、CoFe合金の膜厚の割合を小さくし過ぎると、MR比の低下が顕著となるため好ましくないので、(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)は3.5以下である必要がある。

【0066】この時、本実施例のデュアルスピンバルブ型薄膜素子は、 $10 \times 10^{-7} \geq \lambda \geq -10 \times 10^{-7}$ という良好な特性を示す。

【0067】

【発明の効果】本発明のデュアルスピンバルブ型薄膜素子は、高MR比で、安定した特性を示す。

【0068】また、自由磁性層の材質、膜厚構成を適正化することによって、高出力で特性変動の少ない安定し

た薄膜磁気ヘッドを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のデュアルスピンバルブ型薄膜素子を用いた薄膜磁気ヘッドの素子部の構造を示す斜視図である。

【図2】本発明のデュアルスピンバルブ型薄膜素子を用いた薄膜磁気ヘッドの素子部の構造を示す媒体対向面の素子断面図である。

【図3】図2においてデュアルスピンバルブ型薄膜素子部を拡大した断面図である。

【図4】本発明のデュアルスピンバルブ型薄膜素子の構造を模式的に示した横断面図である。

【図5】本発明のデュアルスピンバルブ型薄膜素子並びに比較のために作製した従来のデュアルスピンバルブ型薄膜素子及びボトムスピンバルブ型薄膜素子の磁気抵抗曲線を示す。

【図6】本発明のデュアルスピンバルブ型薄膜素子において、自由磁性層の(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)を変化させた時のMR比の変化を示す説明図である。

【図7】本発明のデュアルスピンバルブ型薄膜素子において、自由磁性層の(NiFe合金の膜厚/CoFe合金

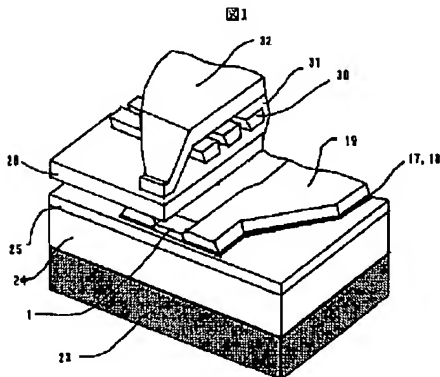
金の膜厚)を変化させた時のHintの変化を示す説明図である。

【図8】本発明のデュアルスピンバルブ型薄膜素子において、自由磁性層の(NiFe合金の膜厚/CoFe合金の膜厚)を変化させた時のλの変化を示す説明図である。

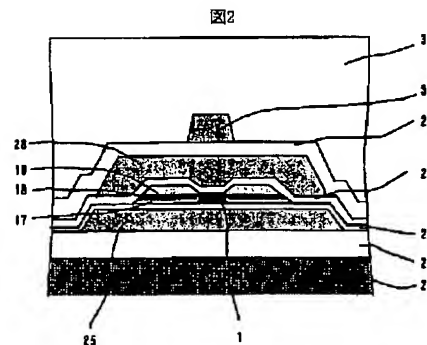
【符号の説明】

1…デュアルスピンバルブ型薄膜素子部、2…下地層、3…第1の反強磁性層、4…第1の磁性層、5…第1の非磁性中間層、6…第2の磁性層、7…第1の非磁性導電層、8…CoFe合金膜(下)、9…NiFe合金膜、10…CoFe合金膜(上)、11…第2の非磁性導電層、12…第4の磁性層、13…第2の非磁性中間層、14…第3の磁性層、15…第2の反強磁性層、16…保護層、17…磁区制御下地層、18…磁区制御層、19…電極層、20…第1の固定磁性層、21…自由磁性層、22…第2の固定磁性層、23…基板、24…ベース層、25…下部磁気シールド層、26…下部ギャップ層、27…上部ギャップ層、28…上部磁気シールド層、29…ライトギャップ、30…コイル、31…層間絶縁層、32…上部磁極、33…保護層、

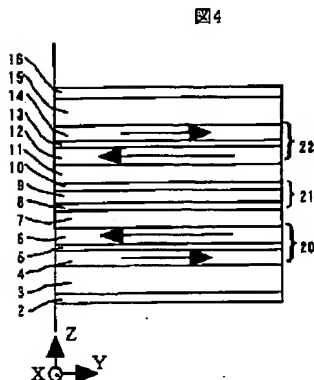
【図1】



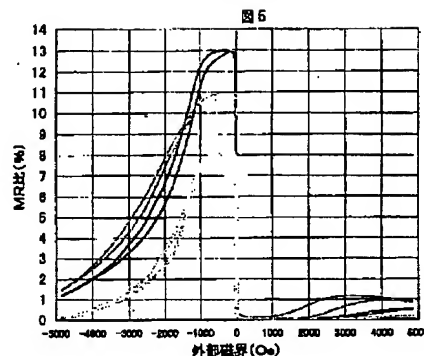
【図2】



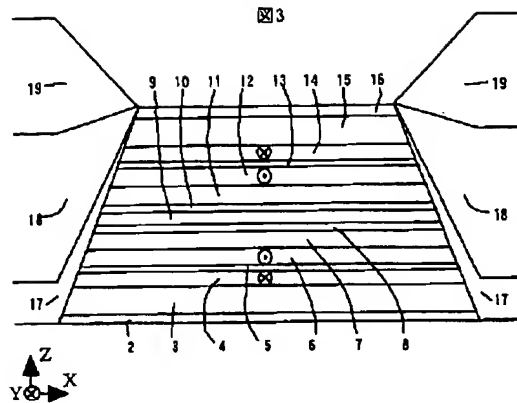
【図4】



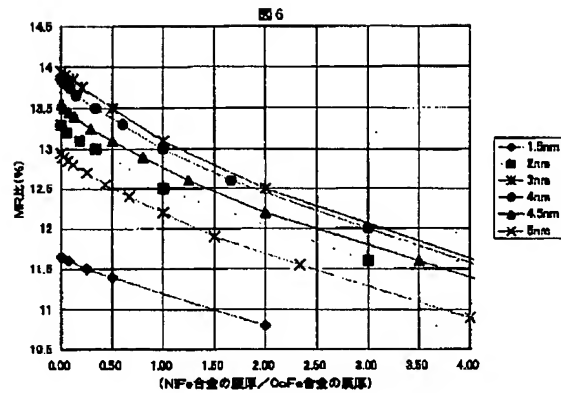
【図5】



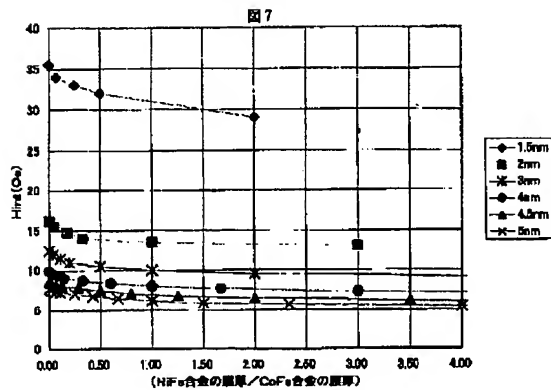
【図3】



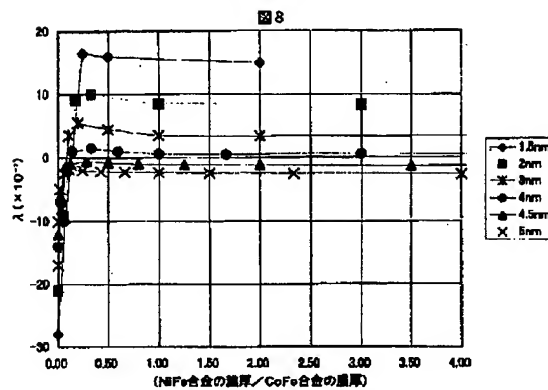
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>7</sup>

H01F 10/32

H01L 43/12

識別記号

FI

H01L 43/12

G01R 33/06

ノート(参考)

R

(72)発明者 田島 康成

神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会社日立製作所ストレージシステム事業部内

(72)発明者 重松 恵嗣

神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会社日立製作所ストレージシステム事業部内

(72)発明者 香川 昌慶

神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会社日立製作所ストレージシステム事業部内

Fターム(参考) 2G017 AA01 AB01 AB07 AC01 AD55

AD65

5D034 BA05 BA17 BB02 BB08 CA08

DA07

5E049 AA01 AA04 AA07 AC05 BA12

CB02 DB12 GC01